

TÁC ĐỘNG CỦA PHÂN LÂN PHỦ DICARBOXYLIC AXIT POLYMER VÀ VÔI ĐẾN HIỆU QUẢ SỬ DỤNG LÂN VÀ NĂNG SUẤT LÚA TRÊN ĐẤT PHÈN

Ngô Phương Ngọc, Hồng Ngọc Bích, Lê Thị Hằng Mơ, Ngô Ngọc Hưng, Lê Văn Dang*

Trường Nông nghiệp, Đại học Cần Thơ, Khu II, đường 3/2, Ninh Kiều, Cần Thơ, Việt Nam

* Tác giả liên hệ: Lê Văn Dang <lvdang@ctu.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 18-3-2026; Ngày chấp nhận đăng: 16-6-2026)

Tóm tắt. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của bón vôi và phân lân (P) phủ dicarboxylic axit polymer (DCAP) đến pH và P hữu dụng (P_{hd}), sinh trưởng, năng suất và HQSDP của cây lúa. Thí nghiệm trong chậu được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với hai nhân tố gồm vôi (0 và 1,5 tấn CaO/ha) và phân P (0; 20 kg P_2O_5 /ha; 20 kg P_2O_5 -DCAP/ha; 40 kg P_2O_5 /ha; 40 kg P_2O_5 -DCAP/ha), mỗi nghiệm thức gồm 4 lặp lại tại nhà lưới Trường Nông nghiệp, Đại học Cần Thơ từ tháng 3 đến tháng 6 năm 2025. Kết quả cho thấy bón vôi làm tăng pH đất và hàm lượng P_{hd} , đồng thời cải thiện sinh trưởng và năng suất lúa. Các nghiệm thức bón P làm tăng chiều cao cây, số chồi, sinh khối, các yếu tố cấu thành năng suất và tổng hấp thu P so với nghiệm thức không bón. Nghiệm thức 40 kg P_2O_5 -DCAP/ha cho hàm lượng P_{hd} trong đất, tổng hấp thu P và năng suất lúa tốt nhất. Ngoài ra, hàm lượng P_{hd} trong đất có mối tương quan thuận với năng suất ($r = 0,92$) và tổng hấp thu P ($r = 0,73$) của cây lúa. Kết hợp bón 1,5 tấn CaO/ha và 40 kg P_2O_5 -DCAP/ha cho năng suất lúa cao nhất.

Từ khoá: đất phèn, hấp thu P, hiệu quả sử dụng P, P phủ dicarboxylic axit polymer, vôi.

Impact of Dicarboxylic acid polymer-coated P fertilizer and lime on P use efficiency and rice productivity in acid sulfate soils

Ngo Phuong Ngoc, Hong Ngoc Bich, Le Thi Hang Mo, Ngo Ngoc Hung, Le Van Dang*

College of Agriculture, Can Tho University, Campus II, 3/2 St., Ninh Kieu Ward, Can Tho City, Viet Nam

* Correspondence to: Le Van Dang <lvdang@ctu.edu.vn>

(Received: 18 March 2026; Accepted: 16 June 2026)

Abstract. This study aimed to evaluate the effects of lime application and phosphorus (P) fertilizer coated with dicarboxylic acid polymer (DCAP) on soil pH, available P (AP), rice growth, yield, and PUE. A pot experiment was conducted in a completely randomized design with two factors: lime (0 and 1.5 t CaO ha⁻¹) and P fertilizer (kg ha⁻¹) (0; 20 P₂O₅; 20 P₂O₅-DCAP; 40 P₂O₅; and 40 P₂O₅-DCAP), with four replicates per treatment in a greenhouse at the College of Agriculture, Can Tho University, from March to June 2025. The results showed that lime application increased soil pH and AP, thereby improving rice growth and yield. P fertilization significantly enhanced plant height, tiller number, biomass, yield components, and total P uptake. The treatment with 40 kg P₂O₅-DCAP ha⁻¹ resulted in the highest soil AP, total P uptake, and grain yield. In addition, soil AP showed a significant positive correlation ($r = 0.73\text{--}0.92$) with rice yield and total P uptake. The combination of 1.5 t CaO ha⁻¹ and 40 kg P₂O₅-DCAP ha⁻¹ produced the highest rice yield.

Keywords: acid sulfate soils, P uptake, P use efficiency, dicarboxylic acid polymer-coated P fertilizer, lime

1 Đặt vấn đề

Hiệu quả sử dụng lân (P) trên đất phèn thường thấp (<15%), do phân P sau khi bón vào đất hòa tan nhanh và dễ bị cố định thông qua quá trình hấp phụ và kết tủa với các oxit sắt (Fe) và nhôm (Al) [1]. Quá trình này làm giảm đáng kể hàm lượng P hữu dụng (P_{hd}) trong đất và hạn chế khả năng hấp thu P của cây trồng [2]. Để khắc phục hạn chế này, các công nghệ phân bón giải phóng chậm đã được phát triển, trong đó phân P phủ dicarboxylic axit polymer được xem là một hướng tiếp cận tiềm năng [3]. Thông thường, các loại phân lân như monoammonium phosphate (MAP) và diammonium phosphate (DAP) được phủ lớp bán thấm nhằm điều tiết quá trình giải phóng P thông qua cơ chế khuếch tán phụ thuộc vào độ ẩm, đồng thời hạn chế sự tiếp xúc trực tiếp giữa P với Fe và Al trong đất, từ đó giúp nâng cao hiệu quả sử dụng P (HQSDP) và giảm sự cố định P [4,5].

Trong số các công nghệ này, phân P phủ dicarboxylic axit polymer (DCAP-P) được xem là một giải pháp triển vọng [6,7]. Lớp phủ DCAP được tổng hợp từ các axit dicarboxylic có khả năng phân hủy sinh học, không chỉ điều chỉnh tốc độ khuếch tán dinh dưỡng mà còn có thể bị phân hủy thông qua hoạt động của vi sinh vật và các phản ứng hóa học, qua đó giảm nguy cơ tồn dư polymer trong môi trường đất [8,9]. Các nghiên cứu trên đất kiềm (giàu canxi, pH > 7,0) ở châu Âu cho thấy DCAP-P đã cải thiện HQSDP và năng suất cây

trồng nhờ giảm sự cố định P với Ca và Mg [9]. Tuy nhiên, các nghiên cứu về vai trò của DCAP-P trên đất phèn (hàm lượng Al và Fe cao, pH < 4,5), trong hệ thống canh tác lúa, vẫn còn hạn chế.

Bón vôi được xem là biện pháp cải tạo quan trọng đối với đất phèn nhờ khả năng trung hòa độ chua và giảm độc tính của Al và Fe [10,11]. Sự gia tăng pH đất giúp giảm hoạt động của các kim loại này, từ đó cải thiện độ hữu dụng của P và nâng cao HQSDP [12]. Đồng thời, cải thiện pH đất còn thúc đẩy hoạt động của vi sinh vật và quá trình khoáng hóa dinh dưỡng, góp phần gia tăng nguồn P_{hd} cho cây trồng [13]. Vì vậy, việc kết hợp vôi với DCAP-P được kỳ vọng sẽ cải thiện HQSDP và năng suất cây trồng trên đất phèn.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của việc kết hợp DCAP-P với vôi đến hàm lượng P_{hd} , HQSDP trên đất phèn và năng suất lúa. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp dẫn chứng khoa học cho quản lý dinh dưỡng phù hợp, nhằm nâng cao HQSDP và năng suất lúa trên đất phèn ở vùng Đồng bằng sông Cửu Long.

2 Vật liệu và phương pháp

2.1 Vật liệu nghiên cứu

Đất sử dụng trong thí nghiệm là đất phèn có tầng phèn hoạt động nông (Thionic Fluvisols -tên phân loại đất theo FAO (2022)) được thu từ ruộng lúa hai vụ tại xã Phụng Hiệp, thành phố Cần Thơ (9°48'12.4"N; 105°43'46.2"E), nơi đã được canh tác

chuyên canh lúa liên tục trong hơn 30 năm. Mẫu đất được thu ở lớp đất mặt (0–15 cm) bằng xẻng sau khi thu hoạch lúa được khoảng 10 ngày. Mẫu đất được phơi khô trong không khí khoảng hai tuần, nghiền và sàng qua rây 4 mm để loại bỏ rễ và tàn dư thực vật. Một số tính chất ban đầu của đất thí nghiệm, bao gồm: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ (1:2,5) = 3,99; P tổng số = 16,8 mg P/kg; P_{hd} = 10,1 mg P/kg; Al trao đổi = 6,20 meq Al^{3+} /100g; Fe hoạt động = 0,84% Fe_2O_3 ; hàm lượng sét = 46,7%.

Vôi được sử dụng trong thí nghiệm là sản phẩm thương mại của Công ty TNHH Khoáng sản Sơn Nam (Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam), với 50% hàm lượng CaO. Chế phẩm DCAP do công ty Verdesian Life Sciences (Hoa Kỳ) sản xuất, với tên thương mại AVAIL®, được sử dụng để phủ lên phân P dạng hạt. Theo khuyến cáo của nhà sản xuất, 1,1 lít AVAIL® được pha loãng với 16 lít nước cất và phun đều lên 500 kg phân DAP (18% N–46% P_2O_5) nhằm tạo ra phân P phủ DCAP (DCAP–P).

Giống lúa sử dụng trong thí nghiệm là Đài Thơm 8, có chiều cao cây 100–110 cm, thời gian sinh trưởng khoảng 95 ngày, chống chịu tốt với rầy nâu và bệnh đạo ôn, đồng thời thích nghi khá với điều kiện đất phèn và mặn [14]. Năng suất trung bình đạt 7–8 tấn/ha. Đây là một trong những giống lúa chủ lực, được trồng phổ biến tại Đồng bằng sông Cửu Long.

Chậu nhựa C11 (đường kính miệng khoảng 29 cm, chiều cao 24 cm, không có lỗ thoát nước ở thành và đáy chậu) được sử dụng để trồng lúa trong thí nghiệm. Ngoài vôi và DCAP–P, các loại phân bón vô cơ khác, bao gồm: urê (46% N), DAP (18% N–46% P_2O_5) và KCl (60% K_2O) được dùng để bón cho lúa.

2.2 Thời gian và địa điểm

Thí nghiệm được tiến hành trong nhà lưới từ tháng 3 đến tháng 6 năm 2025 tại Khoa Khoa học đất, Trường Nông nghiệp, Đại học Cần Thơ.

2.3 Phương pháp nghiên cứu

a. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên theo kiểu thừa số hai nhân tố, gồm nhân tố A là vôi (0 và 1,5 tấn CaO/ha) và nhân tố B là phân lân phủ DCAP với 5 mức (kg P_2O_5 /ha): 0, 20 P_2O_5 , 20 P_2O_5 –DCAP, 40 P_2O_5 và 40 P_2O_5 –DCAP. Thí nghiệm gồm 10 nghiệm thức, được bố trí với 4 lần lặp lại (1 chậu/lặp lại), tổng cộng 40 chậu. Liều lượng phân P (40 kg P_2O_5 /ha) và vôi (1,5 tấn CaO/ha) được sử dụng trong thí nghiệm theo khuyến cáo của [15] và [16] cho đất phèn trồng lúa ở Đồng bằng sông Cửu Long, theo thứ tự. Lượng phân P bón được quy ra trên mỗi chậu (15 kg đất) tương ứng là: 0, 150 mg P_2O_5 /chậu, 150 mg P_2O_5 –DCAP/chậu, 300 mg P_2O_5 /chậu và 300 mg P_2O_5 –DCAP/chậu.

Trước tiên, cân 15 kg đất bỏ vào mỗi chậu, sau đó bón vôi (đối với các nghiệm thức có bón vôi) và cho nước ngập cao hơn mặt đất khoảng 5 cm trong 2 ngày, sau đó tiến hành gieo 3 hạt lúa đã nảy mầm vào từng chậu. Tất cả các nghiệm thức được bón cùng liều lượng N (80 kg N/ha) và K (30 kg K_2O /ha) [15]. Trong khi P được bón theo liều lượng của từng nghiệm thức ở trên. Thời kỳ và liều lượng bón phân N, P, K như sau: 30% N, 50% P_2O_5 và 50% K_2O được bón vào giai đoạn 10 ngày sau khi gieo hạt (NSKG); 40% N, 50% P_2O_5 và 0% K_2O được bón vào giai đoạn 20 NSKG; và toàn bộ lượng phân còn lại được bón lúc 45 NSKG.

b. Thu thập và xử lý số liệu

Giá trị pH và P_{hd} trong đất: Mẫu đất được thu vào cuối vụ để xác định pH và P_{hd} . P_{hd} được xác định theo phương pháp Bray II bằng máy so màu và pH đất được đo trong dung dịch đất:nước (1:2,5) bằng pH kế [17].

Chỉ tiêu sinh trưởng: Chiều cao cây và số chồi trên mỗi chậu được ghi nhận tại các thời điểm 20, 45, 65 và 95 ngày sau khi gieo (NSKG). Các yếu tố cấu thành năng suất: số bông trên chậu, số hạt chắc trên bông, tỷ lệ hạt lép (%), và trọng lượng 100

hạt (ẩm độ 14%). Năng suất hạt (g/chậu) được xác định bằng cách thu hoạch toàn bộ lúa trong mỗi chậu lúc 95 NSKG và quy đổi về ẩm độ 14%.

Sinh khối và hấp thu dinh dưỡng: Tại thời điểm thu hoạch, toàn bộ rom và hạt trong mỗi chậu được thu và cân để xác định sinh khối. Mẫu rom và hạt được lấy ngẫu nhiên từ 3 chồi lúa trên mỗi nghiệm thức, sau đó sấy khô đến trọng lượng không đổi để xác định sinh khối khô. Hàm lượng P trong rom và hạt được xác định bằng phương pháp so màu trên máy quang phổ ở bước sóng 880 nm [17]. Tổng P hấp thu của cây được tính bằng sinh khối của từng bộ phận (rom và hạt) nhân với hàm lượng P tương ứng.

Dữ liệu thí nghiệm được xử lý bằng phần mềm thống kê SPSS (ver. 20). Phân tích phương sai hai nhân tố (two-way ANOVA) được áp dụng để đánh giá ảnh hưởng của vôi, phân lân phủ DCAP và tương tác giữa hai nhân tố này đến các chỉ tiêu nghiên cứu. Khi sự khác biệt giữa các nghiệm thức có ý nghĩa thống kê, các giá trị trung bình được so sánh bằng phép thử Duncan ở mức ý nghĩa $p < 0,05$.

Mối tương quan giữa hàm lượng P_{hd} trong đất với năng suất và hấp thu P của lúa được xác định bằng hệ số tương quan Pearson (r).

3 Kết quả

3.1 Ảnh hưởng của P phủ DCAP và bón vôi đến sinh trưởng và năng suất lúa

a. Chiều cao cây và số chồi lúa

Bón vôi và phân P ảnh hưởng rõ rệt đến sinh trưởng của lúa (Bảng 1). Bón 1,5 tấn vôi/ha làm tăng chiều cao cây ở tất cả các giai đoạn, đạt 34,1; 59,5; 89,7 và 101 cm lần lượt tại 20, 45, 65 và 95 NSKG, cao hơn có ý nghĩa so với nghiệm thức không bón vôi ($p < 0,01$). Tuy nhiên, vôi không ảnh hưởng đến số chồi ở 20 NSKG nhưng làm tăng số chồi ở 45 và 65 NSKG. Các nghiệm thức bón P hoặc P phủ DCAP đều làm tăng chiều cao và số chồi so với đối chứng không bón P. Trong đó, 40 kg P_2O_5 –DCAP/ha cho giá trị cao nhất, với chiều cao đạt 35,0; 63,3; 92,3 và 105 cm tại các thời điểm tương ứng và số chồi đạt 26,0 và 19,8 chồi/chậu tại 45 và 65 NSKG.

Bảng 1. Chiều cao và số chồi lúa bị tác động bởi bón vôi và DCAP–P

Nhân tố	Nghiệm thức	Chiều cao (cm) (NSKG)				Số chồi (NSKG)		
		20	45	65	95	20	45	65
A. Vôi (tấn/ha)	0	32,6 ^b	58,3 ^b	87,0 ^b	95,8 ^b	10,1	21,2 ^b	15,1 ^b
	1,5	34,1 ^a	59,5 ^a	89,7 ^a	101 ^a	10,4	23,3 ^a	16,8 ^a
B. Lân (kg/ha)	0	31,7 ^b	53,8 ^d	84,4 ^c	91,8 ^d	9,6	18,2 ^d	12,3 ^d
	20 P_2O_5	32,4 ^b	57,8 ^c	86,1 ^c	95,8 ^c	10,5	20,4 ^c	14,9 ^c
	20 P_2O_5 –DCAP	33,7 ^a	59,8 ^b	89,4 ^b	99,2 ^b	10,4	23,0 ^b	16,1 ^b
	40 P_2O_5	34,0 ^a	59,8 ^b	89,5 ^b	101 ^b	9,9	23,5 ^b	16,5 ^b
	40 P_2O_5 –DCAP	35,0 ^a	63,3 ^a	92,3 ^a	105 ^a	10,7	26,0 ^a	19,8 ^a
F (A)		**	**	**	**	ns	**	**
F (B)		**	**	**	**	ns	**	**
F (A × B)		ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
CV (%)		5,2	6,2	4,0	5,6	8,7	14,1	16,7

Chú thích: Trong cùng một cột của mỗi nhân tố, các giá trị mang chữ cái theo sau khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 1% (**; $p < 0,01$), trong khi ns cho thấy sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê. NSKG: ngày sau khi gieo; CV: hệ số biến thiên.

b. Thành phần năng suất và năng suất lúa

Bón vôi và phân P tác động đáng kể đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất lúa (Bảng 2). Bón 1,5 tấn vôi/ha làm tăng số bông/chậu (16,4 bông), số hạt chắc/bông (75,4 hạt) và năng suất lúa (31,4 g/chậu) so với nghiệm thức không bón vôi ($p<0,01$). Đồng thời, tỷ lệ hạt lép giảm từ 15,9%

xuống 12,7% ($p<0,05$), trong khi trọng lượng 100 hạt không bị ảnh hưởng. Bón P hoặc P phủ DCAP làm cải thiện rõ rệt các thành phần năng suất. Nghiệm thức 40 kg P₂O₅-DCAP/ha đạt giá trị cao nhất với 19,1 bông/chậu, 80,9 hạt chắc/bông và năng suất 34,6 g/chậu, đồng thời có tỷ lệ hạt lép thấp nhất (10,3%). Ngược lại, nghiệm thức không bón P cho các giá trị thấp nhất.

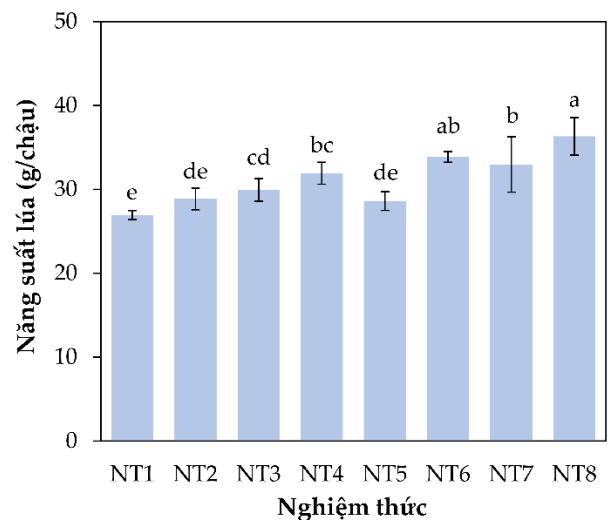
Bảng 2. Ảnh hưởng của bón vôi và P phủ DCAP đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất lúa

Nhân tố	Nghiệm thức	Thành phần năng suất lúa				Năng suất lúa (g/chậu)
		Số bông/chậu (bông)	Số hạt chắc/bông (hạt)	Tỷ lệ hạt lép (%)	Trọng lượng 100 hạt (g)	
A. Vôi (tấn/ha)	0	14,5 ^b	70,6 ^b	15,9 ^a	2,85	28,5 ^b
	1,5	16,4 ^a	75,4 ^a	12,7 ^b	2,84	31,4 ^a
B. Lân (kg/ha)	0	11,9 ^d	66,3 ^c	17,6 ^a	2,84	25,1 ^d
	20 P ₂ O ₅	14,4 ^c	71,2 ^b	15,3 ^a	2,84	27,9 ^c
	20 P ₂ O ₅ -DCAP	15,7 ^b	73,1 ^b	14,1 ^{ab}	2,87	30,9 ^b
	40 P ₂ O ₅	16,2 ^b	73,6 ^b	14,3 ^{ab}	2,87	31,2 ^b
	40 P ₂ O ₅ -DCAP	19,1 ^a	80,9 ^a	10,3 ^b	2,84	34,6 ^a
F (A)		**	**	*	ns	**
F (B)		**	**	*	ns	**
F (A × B)		ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		17,1	8,8	32,7	2,1	12,9

Chú thích: Trong cùng một cột của mỗi nhân tố, các giá trị mang chữ cái theo sau khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% (*; $p < 0,05$) và 1% (**; $p < 0,01$), trong khi ns cho thấy sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê. CV: hệ số biến thiên.

Kết quả ở Hình 1 cho thấy sự khác biệt về năng suất lúa giữa các nghiệm thức bón vôi và phân P. Nhìn chung, các nghiệm thức có bón vôi và sử dụng P phủ DCAP cho năng suất cao hơn so với các nghiệm thức chỉ bón P thông thường. Năng suất lúa có xu hướng tăng khi tăng mức bón P từ 20 lên 40 kg P₂O₅/ha, đặc biệt khi kết hợp với vôi. Trong các nghiệm thức, NT8 (1,5 tấn CaO/ha + 40

kg P₂O₅-DCAP/ha) đạt năng suất cao nhất, trong khi NT1 (0 CaO + 20 kg P₂O₅/ha) cho năng suất thấp nhất. Sự khác biệt về năng suất giữa các nghiệm thức có ý nghĩa thống kê ở mức 1% ($p < 0,01$), cho thấy việc kết hợp bón vôi với phân P, đặc biệt là dạng P phủ DCAP, góp phần cải thiện đáng kể năng suất lúa.



Hình 1. Sự khác biệt về năng suất lúa (g/chậu) giữa các nghiệm thức thí nghiệm

Chú thích: NT1, 0 CaO + 20 kg P₂O₅/ha; NT2, 1,5 tấn CaO/ha + 20 kg P₂O₅/ha; NT3, 0 CaO + 20 kg P₂O₅-DCAP/ha; NT4, 1,5 tấn CaO/ha + 20 kg P₂O₅-DCAP/ha; NT5, 0 CaO + 40 kg P₂O₅/ha; NT6, 1,5 tấn CaO/ha + 40 kg P₂O₅/ha; NT7, 0 CaO + 40 kg P₂O₅-DCAP/ha; NT8, 1,5 tấn CaO/ha + 40 kg P₂O₅-DCAP/ha. Các chữ cái trên các cột khác nhau biểu thị sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở mức 1% (p < 0,01). Thanh sai số trên mỗi cột biểu thị cho độ lệch chuẩn (n = 4).

3.2 Sinh khối, tổng hấp thu và hiệu quả sử dụng P của lúa

Sinh khối, hấp thu P và HQSDP của cây lúa chịu tác động tích cực từ việc bón vôi và phân P (Bảng 3). So với nghiệm thức không bón, việc bổ sung 1,5 tấn vôi/ha làm tăng đáng kể sinh khối rom và sinh khối hạt, đồng thời nâng tổng lượng P hấp thu của cây (p < 0,01). Tuy nhiên, hàm lượng P trong rom và hạt không thay đổi đáng kể giữa các

mức bón vôi. Bón lân cũng làm gia tăng sinh khối và tổng lượng P hấp thu của cây lúa. Xu hướng tăng rõ rệt khi tăng mức bón và đặc biệt khi sử dụng dạng P phủ DCAP. Nghiệm thức 40 kg P₂O₅-DCAP/ha cho sinh khối rom, sinh khối hạt và tổng hấp thu P cao nhất, trong khi đối chứng không bón lân thấp nhất. HQSDP cũng khác nhau giữa các nghiệm thức bón P, dao động từ 12,1–21,0%. Trong đó, các nghiệm thức sử dụng P phủ DCAP cho hiệu quả cao hơn so với dạng P thông thường.

Bảng 3. Sinh khối, hấp thu và HQSDP của cây lúa dưới tác động của vôi và DCAP-P

Nhân tố	Nghiem thức	Sinh khối rom (g/chậu)	Hàm lượng P trong rom (%P ₂ O ₅)	Sinh khối hạt (g/chậu)	Hàm lượng P trong hạt (%P ₂ O ₅)	Tổng hấp thu P (g P ₂ O ₅ /chậu)	Hiệu quả sử dụng P (%)
A. Vôi (tấn/ha)	0	23,4 ^b	0,31	20,3 ^b	0,44	0,16 ^b	–
	1,5	26,4 ^a	0,33	22,5 ^a	0,41	0,18 ^a	–
B. Lân (kg/ha)	0	21,0 ^d	0,30	17,9 ^d	0,43	0,14 ^d	–
	20 P ₂ O ₅	23,7 ^c	0,31	19,9 ^c	0,43	0,16 ^c	12,1
	20 P ₂ O ₅ -DCAP	25,3 ^b	0,33	22,1 ^b	0,41	0,17 ^{bc}	21,0

Nhân tố	Nghiem thức	Sinh khối rơm (g/chậu)	Hàm lượng P trong rơm (%P ₂ O ₅)	Sinh khối hạt (g/chậu)	Hàm lượng P trong hạt (%P ₂ O ₅)	Tổng hấp thu P (g P ₂ O ₅ /chậu)	Hiệu quả sử dụng P (%)
	40 P ₂ O ₅	26,0 ^b	0,33	22,3 ^b	0,44	0,18 ^b	13,8
	40 P ₂ O ₅ -DCAP	28,3 ^a	0,33	24,7 ^a	0,44	0,20 ^a	20,8
F (A)		**	ns	**	ns	**	–
F (B)		**	ns	**	ns	**	–
F (A × B)		**	ns	ns	ns	ns	–
CV (%)		12,1	15,1	12,9	9,8	15,8	–

Chú thích: Trong cùng một cột của mỗi nhân tố, các giá trị mang chữ cái theo sau khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 1% (**; p < 0,01), trong khi ns cho thấy sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê. CV: hệ số biến thiên. Hiệu quả sử dụng P được tính bằng chênh lệch tổng lượng P hấp thu của cây lúa giữa nghiệm thức có bón P và nghiệm thức không bón P ở nhân tố B (lân), chia cho lượng P bón vào [18].

3.3 Giá trị pH và hàm lượng P_{hd} trong đất dưới tác động của bón vôi và P phủ DCAP

Giá trị pH đất và hàm lượng P_{hd} chịu ảnh hưởng khác nhau do bón vôi và phân lân (Bảng 4). Việc bổ sung 1,5 tấn vôi/ha làm tăng đáng kể pH đất từ 4,13 lên 4,36 và đồng thời nâng hàm lượng P_{hd} từ 12,3 lên 14,4 mg P/kg (p < 0,01). Các mức bón P không làm thay đổi đáng kể pH đất, nhưng lại

ảnh hưởng rõ rệt đến P_{hd} trong đất. Hàm lượng P_{hd} tăng dần theo mức bón và đạt cao nhất ở nghiệm thức 40 kg P₂O₅-DCAP/ha (17,0 mg P/kg), trong khi nghiệm thức không bón P thấp nhất (9,7 mg P/kg). Tóm lại, kết quả cho thấy bón vôi giúp nâng cao hàm lượng P_{hd} trong đất phèn trồng lúa. Tương tự, 40 P₂O₅-DCAP có hàm lượng P_{hd} trong đất cao hơn so với nghiệm thức không phủ DCAP (40 P₂O₅).

Bảng 4. Ảnh hưởng của bón vôi và DCAP-P đến giá trị pH và hàm lượng P_{hd} trong đất

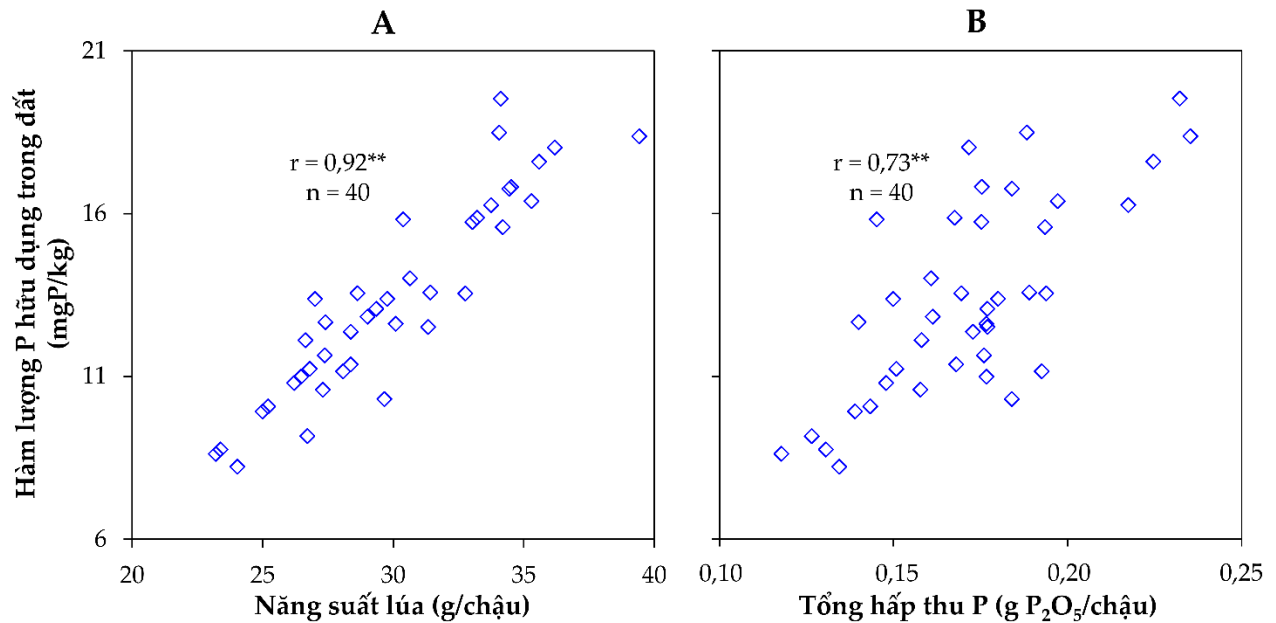
Nhân tố	Nghiem thức	pH _{H2O} (1:2,5)	P hữu dụng trong đất (mgP/kg)
A. Vôi (tấn/ha)	0	4,13 ^b	12,3 ^b
	1,5	4,36 ^a	14,4 ^a
	0	4,24	9,7 ^d
B. Lân (kg/ha)	20 P ₂ O ₅	4,24	11,9 ^c
	20 P ₂ O ₅ -DCAP	4,28	13,7 ^{bc}
	40 P ₂ O ₅	4,24	14,3 ^b
	40 P ₂ O ₅ -DCAP	4,22	17,0 ^a
F (A)		**	**
F (B)		ns	**
F (A × B)		ns	ns
CV (%)		4,9	22,3

Chú thích: Trong cùng một cột của mỗi nhân tố, các giá trị mang chữ cái theo sau khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 1% (**; p < 0,01), trong khi ns cho thấy sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê. CV: hệ số biến thiên.

3.4 Mối tương quan giữa hàm lượng P_{hd} trong đất, năng suất và hấp thu P của lúa

Kết quả phân tích tương quan cho thấy hàm lượng P_{hd} trong đất có mối tương quan thuận ($r=0,73-0,92$) với năng suất lúa (Hình 2A) và tổng hấp thu P của cây lúa (Hình 2B). Cụ thể, khi hàm lượng P_{hd} trong đất tăng thì năng suất lúa cũng

tăng tương ứng, thể hiện mối tương quan chặt và có ý nghĩa ở mức 1% ($p < 0,01$). Tương tự, tổng lượng P được cây lúa hấp thu cũng gia tăng theo sự gia tăng của P_{hd} trong đất. Mối tương quan này cho thấy P_{hd} đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp dinh dưỡng cho cây, góp phần nâng cao khả năng hấp thu P và cải thiện năng suất lúa.



Hình 2. Mối tương quan giữa hàm lượng P_{hd} trong đất với: (A) năng suất lúa và (B) tổng hấp thu P
Chú thích: r thể hiện hệ số tương quan Pearson và ** chỉ ra sự khác biệt thống kê ở mức ý nghĩa 1% ($p < 0,01$).

4 Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy bón vôi và phân P có ảnh hưởng đáng kể đến sinh trưởng, năng suất và khả năng hấp thu P của cây lúa trồng trên đất phèn (Bảng 1–3). Mặc dù, hệ số biến thiên (CV) của một số chỉ tiêu ở mức tương đối cao có thể do sự biến động tự nhiên của các thông số như hàm lượng P hữu dụng trong đất, khả năng hấp thu dinh dưỡng và tỷ lệ hạt lép của cây lúa trong điều kiện đất phèn. Tuy nhiên, các chỉ tiêu chính vẫn thể hiện xu hướng khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức.

Bón vôi đã làm tăng pH và hàm lượng P_{hd} trong đất. Khi đất có pH thấp, P thường bị cố định bởi các hợp chất Fe và Al, làm giảm khả năng hấp thu của cây [19]. Khi pH đất tăng nhờ bón vôi, quá

trình cố định P giảm, từ đó làm gia tăng hàm lượng P dễ hấp thu cho cây trồng [20]. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây cho thấy bón vôi là biện pháp quan trọng để cải thiện độ chua của đất và nâng cao khả năng cung cấp dinh dưỡng, đặc biệt là P [21,22].

Sự cải thiện pH và hàm lượng P_{hd} đất (Bảng 4) đã phản ánh rõ qua các chỉ tiêu sinh trưởng của lúa. Chiều cao cây và số chồi tăng đáng kể khi bón vôi, đặc biệt ở các giai đoạn sinh trưởng sau. Điều này cho thấy cải thiện pH đất đã giúp tăng cường hoạt động của bộ rễ lúa và khả năng hấp thu dinh dưỡng. Sự gia tăng số chồi hữu hiệu đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành số bông, từ đó góp phần nâng cao năng suất lúa [23]. Ngoài tác động của vôi, bổ sung phân P cũng đóng vai trò quan trọng đối với sinh trưởng và năng suất lúa.

Trong thí nghiệm này, các nghiệm thức bón P đều cho giá trị sinh trưởng, sinh khối và năng suất cao hơn so với nghiệm thức không bón. P là nguyên tố dinh dưỡng thiết yếu tham gia vào nhiều quá trình sinh lý của cây lúa, bao gồm phát triển bộ rễ, phân hóa chồi và tích lũy năng lượng [24]. Do đó, việc cung cấp đủ P có thể thúc đẩy sự phát triển của cây lúa và cải thiện các yếu tố cấu thành năng suất [25].

Đặc biệt, các nghiệm thức sử dụng phân P phủ DCAP cho hiệu quả nổi bật hơn so với chỉ bón P thông thường ở cùng mức bón. Điều này có thể liên quan đến đặc tính giải phóng dinh dưỡng chậm của lớp phủ polymer, giúp điều tiết quá trình hòa tan của phân P trong đất [9]. Nhờ đó, lượng P được cung cấp từ từ và theo nhu cầu của cây, đồng thời hạn chế sự cố định P trong đất [6]. Kết quả này được thể hiện qua hàm lượng Phd trong đất, tổng hấp thu P của cây và HQSDP cao hơn ở các nghiệm thức sử dụng P phủ DCAP. Phân tích tương quan cho thấy hàm lượng Phd trong đất có mối quan hệ thuận chặt chẽ với năng suất lúa và tổng hấp thu P của cây (Hình 2). Điều này chứng tỏ rằng sự gia tăng Phd đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện khả năng hấp thu dinh dưỡng và năng suất cây trồng [26]. Khi lượng Phd tăng, cây lúa có thể hấp thu P hiệu quả hơn, dẫn đến sự gia tăng sinh khối và năng suất [27].

Kết hợp bón vôi và sử dụng phân P phủ DCAP đã làm giảm độ chua của đất, tăng hàm lượng Phd và nâng cao HQSDP của cây lúa. Tuy nhiên, nghiên cứu được thực hiện trong điều kiện chậu và nhà lưới nên chưa phản ánh đầy đủ các điều kiện thực tế ngoài đồng ruộng, đặc biệt là sự dao động mực nước, quá trình oxy hóa-khử Fe và Al, cũng như động thái biến đổi và thất thoát dinh dưỡng trong đất phèn. Do đó, khả năng ngoại suy kết quả cho điều kiện sản xuất thực tế vẫn còn hạn chế. Bên cạnh đó, nghiên cứu chỉ đánh giá sự thay đổi của pH và P hữu dụng trong đất mà chưa phân tích trực tiếp các dạng lân như Fe-P, Al-P và Ca-P, cũng như chưa theo dõi động thái chuyển hóa P theo thời gian. Vì vậy, cơ chế làm giảm sự cố định

P của phân lân phủ dicarboxylic axit polymer (DCAP-P) chủ yếu được suy luận dựa trên kết quả P hữu dụng và tài liệu tham khảo. Ngoài ra, nghiên cứu chưa đánh giá hiệu quả kinh tế của việc sử dụng DCAP-P trong canh tác lúa, bao gồm chi phí đầu tư, lợi nhuận gia tăng và khả năng áp dụng trong điều kiện sản xuất ngoài đồng ruộng. Đồng thời, các tác động môi trường như tồn dư polymer và ảnh hưởng đến vi sinh vật đất cũng chưa được xem xét trong nghiên cứu này. Do đó, cần có thêm các nghiên cứu trong điều kiện đồng ruộng nhằm đánh giá toàn diện hơn về cơ chế tác động, hiệu quả kinh tế và tính bền vững môi trường của việc sử dụng DCAP-P kết hợp với vôi trên đất phèn.

5 Kết luận và kiến nghị

Bón 1,5 tấn CaO/ha giúp cải thiện pH đất, hàm lượng P hữu dụng, sinh trưởng và năng suất lúa trên đất phèn. Các nghiệm thức bón phân P, đặc biệt là 40 kg P₂O₅-DCAP/ha, làm tăng hấp thu P và năng suất lúa so với nghiệm thức không bón P trong điều kiện nhà lưới. Cần có thêm nghiên cứu để làm rõ ảnh hưởng của DCAP-P và vôi đến sự chuyển hóa các dạng P trong đất phèn ở điều kiện thực tế ngoài đồng ruộng.

Tài liệu tham khảo

1. Wang Q, Qin Z, Zhang W, Chen Y, Zhu P, Peng C, Wang L, et al. Effect of long-term fertilization on phosphorus fractions in different soil layers and their quantitative relationships with soil properties. *J Integr Agric.* 2022;21(9):2720-2733. doi:10.1016/j.jia.2022.07.018.
2. Asomaning KS. Processes and factors affecting phosphorus sorption in soils. In: Kyzas GZ, Lazaridis NK, editors. *Sorption in 2020s*. London: IntechOpen; 2020. p. 1-15. doi:10.5772/intechopen.90719.
3. Ravindran A, Manivannan AC, Kandaiah R, Kulanthaisamy M, Indirathankam SC, Nachimuthu G, Panneerselvam L, Palanisami T. Advancements and challenges in controlled-

release fertilisers: An approach to integrate biopolymer-based strategies.

Ind Crops Prod. 2025;233:121349. doi:10.1016/j.indcrop.2025.121349.

4. Lawrencía D, Wong SK, Low DYS, Goh BH, Goh JK, Ruktanonchai UR, et al.

Controlled release fertilizers: a review on coating materials and mechanism of release. *Plants*. 2021;10(2):238. doi:10.3390/plants10020238.

5. Mansouri H, Ait Said H, Noukrati H, Oukarroum A, Ben YH, Perreault F. Advances in controlled release fertilizers: cost-effective coating techniques and smart stimuli-responsive hydrogels. *Adv Sustain Syst*. 2023;7:2300149. doi:10.1002/adsu.202300149

6. Dang LV, Hung NN, Toan LP, Ngọc NP. Influence of dicarboxylic acid polymer in enhancing the growth and productivity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in acidic soil. *PeerJ*. 2023;11:e14803. doi:10.7717/peerj.14803.

7. Quyen NK, Ngọc NP, Thao PTP, Ly LM. Effects of the interaction between dicarboxylic acid polymer and CaO on phosphorus use efficiency of cassava grown on the acidic sulfate soil in the Mekong Delta. *Front Agron*. 2025;7:1562159. doi:10.3389/fagro.2025.1562159

8. Summerhays JS, Jolley VD, Hill MW, Hopkins BG. Enhanced phosphorus fertilizers (Carbond P® and Avail®) supplied to maize in hydroponics. *J Plant Nutr*. 2017;40(20):2889–2897. doi:10.1080/01904167.2017.1384007

9. Hopkins BG, Fernelius KJ, Hansen NC, Eggett, DL. AVAIL phosphorus fertilizer enhancer: meta-analysis of 503 field evaluations. *Agron J*. 2018;110(1): 389–398. doi:10.2134/agronj2017.07.0385.

10. Abdi BT. Studies on the effects of liming acidic soil on improving soil physicochemical properties and yield of crops: a review. *Middle East Res J Agric Food Sci Middle East*. 2024;4:95–103. doi:10.36348/merjafs.2024.v04i03.001

11. Wenyika P, Enesi RO, Gorim LY, Dyck M. Effects of liming on soil physical and chemical properties in Europe and North America: a review.

Agrosystems Geosci Environ. 2025;8(3):e70175. doi:10.1002/agg2.70175

12. Regasa A, Haile W, Abera G. Effects of lime and vermicompost application on soil physicochemical properties and phosphorus availability in acidic soils. *Sci Rep*. 2025;15(1):25544. doi:10.1038/s41598-025-02053-4

13. García-Berumen JA, Flores De La Torre JA, De Los Santos-Villalobos S, Espinoza-Canales, A, Echavarría-Cháirez FG, Gutiérrez-Bañuelos H. Phosphorus dynamics and sustainable agriculture: The role of microbial solubilization and innovations in nutrient management. *Curr Res Microb Sci*. 2025;8:100326. doi:10.1016/j.crmicr.2024.100326

14. Sơn NV, Thảo TT, Anh TTV. Nghiên cứu ảnh hưởng của liều lượng phân lân và vôi đến sinh trưởng và năng suất của cây lúa nước trên đất nhiễm phèn tại xã Cam Phước Đông, thành phố Cam Ranh, tỉnh Khánh Hòa. *Tạp chí Điện tử về Nông Nghiệp và Môi Trường*. 2025;15:25–33. doi:10.71254/ep3pt290

15. Hưng NN, Dang LV, Khương TQ, Huu TN, Quyen NK, Toan LP. Sử dụng NPK cho cây lúa trên các biểu loại đất chính ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2020;56:177–184. doi:10.22144/ctu.jsi.2020.083

16. Quyen NK, Sương TTT, Dang LV, Hưng NN. Ảnh hưởng của tưới mặn và bón vôi lên tính chất hóa học đất và năng suất lúa OM5451. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*. 2020;7:54–60.

17. Houba V, Vanderlee J, Novozamsky I. Soil analysis procedures (soil and plant analysis, part 5B), a Series of Syllabi. Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University; 1995.

18. Gu Y, Ros GH, Zhu Q, Zheng D, Shen J, Cai Z, et al. Responses of total, reactive and dissolved phosphorus pools and crop yields to long-term fertilization. *Agric Ecosyst Environ*. 2023;357:108658. doi:10.1016/j.agee.2023.108658

19. Jahan N, Mahmud U, Khan MZ. Sustainable plant-soil phosphorus management in agricultural systems: challenges, environmental impacts and

- innovative solutions. *Discov Soil*. 2025;2(1):13. doi:10.1007/s44378-025-00039-2
20. Ejigu W, Selassie YG, Elias E, Molla E. Effect of lime rates and method of application on soil properties of acidic Luvisols and wheat (*Triticum aestivum* L.) yields in northwest Ethiopia. *Heliyon*. 2023;9(3):e13988. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e13988
21. Holland JE, White R, Haefele SM, Goulding KWT, McGrath SP, Glendining MJ. Long-term effects of lime and phosphorus application on soil extractable (Olsen) phosphorus differ between two arable UK soils. *Soil Use Manag*. 2024;40(4):e13160. doi:10.1111/sum.13160
22. Makaza W, Khiari L, El Achaby M. The meta-analysis study on the effects of the quality of lime materials on the soil physicochemical properties and crop yields in acid soils. *Front Soil Sci*. 2026;6:1725559. doi:10.3389/fsoil.2026.1725559
23. Zhang N, Liu Y, Gui S, Wang Y. Regulation of tillering and panicle branching in rice and wheat. *J Genet Genomics*. 2025;52(7):869-886. doi:10.1016/j.jgg.2024.12.005
24. Khan F, Siddique AB, Shabala S, Zhou M, Zhao C. Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. *Plants*. 2023;12(15):2861. doi:10.3390/plants12152861
25. Prathap V, Kumar S, Meena NL, Maheshwari C, Dalal M, Tyagi A. Phosphorus starvation tolerance in rice through combined physiological, biochemical, and proteome analyses. *Rice Sci*. 2023;30(6):613-631. doi:10.1016/j.rsci.2023.04.007
26. Chen G, Xiao L, Yue K, Wang Y, Wang S, Zhu Y, Kai L. Optimizing phosphate application to improve soil quality and reduce phosphorus loss in rice-wheat rotation. *Agric Ecosyst Environ*. 2025;378:109310. doi:10.1016/j.agee.2024.109310
27. Ebbisa A. Toward the recent advances in nutrient use efficiency (NUE): strategies to improve phosphorus availability to plants. In: Singh V, Choudhary M, Prakash R, Kumari S, editors. *Sustainable crop production - recent advances*. London: IntechOpen; 2022. p. 1-18. doi:10.5772/intechopen.102595